

ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP TEGANGAN DALAM SAMBUNGAN TULANG PINGGUL BUATAN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Sugiyanto¹, M. Tauviquirrahman^{1*}, Rifky Ismail¹, Jamari¹

¹Laboratorium Perancangan Teknik dan Tribologi, Jurusan Teknik Mesin,

Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

*e-mail: mtauviq99@yahoo.com

ABSTRAK

Pengetahuan letak dan besar tegangan maksimum akibat pembebanan dalam sistem sambungan tulang pinggul buatan merupakan hal yang penting untuk menjamin kualitas sambungan. Selain itu, sifat material pengganti komponen dan dimensi yang digunakan dalam sambungan secara umum dapat mempengaruhi kemampuan sambungan tulang pinggul buatan. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model elemen hingga untuk menganalisa pengaruh pembebanan sebagai model berat beban pada manusia terhadap tegangan yang terjadi dalam sistem sambungan tulang pinggul buatan. Perangkat lunak berdasarkan metode elemen hingga, ANSYS digunakan untuk memodelkan berbagai lapisan komponen sambungan yang terbentuk dan sekaligus menghitung besarnya tegangan von Mises untuk mengetahui kegagalan yang mungkin terjadi. Berdasarkan studi ini, diketahui bahwa material viskoelastik berpengaruh terhadap distribusi tegangan yang terjadi pada tiap-tiap lapisan. Besarnya tegangan von Mises maksimum yang terjadi pada semua lapisan dalam sistem sambungan tulang pinggul buatan yang dikembangkan untuk femoral head dengan diameter 28 mm terbukti memenuhi persyaratan secara keteknisan karena tidak melebihi tegangan luluh material pembentuknya.

Kata kunci: Viscoelastik, Sambungan tulang pinggul buatan, Metode elemen hingga

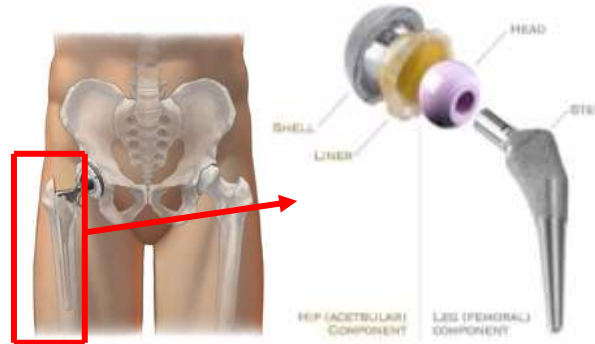
1. PENDAHULUAN

Respon tiap material terhadap beban luar yang diberikan tergantung sifat material tersebut. Material dapat bersifat elastik, elastik-plastik, plastik, viskoelastik atau viskoplastik. Respon material yang menunjukkan karakteristik viskous dan elastik ketika terjadi deformasi dikatakan bersifat viskoelastik. Aplikasi material viskoelastik salah satunya ada pada bidang *bio-engineering*. Dalam bidang ini material viskoelastik dapat diaplikasikan pada sistem sambungan tulang pinggul buatan. Sifat viskoelastik merupakan suatu sifat material yang menunjukkan respon elastik dan viskos ketika terjadi deformasi. Tegangan dan regangan yang terjadi pada material viskoelastik merupakan suatu fungsi waktu. Beberapa material yang menunjukkan sifat viskoelastik adalah polymer, tubuh manusia, kayu, dan beberapa logam pada temperatur tinggi. Aplikasi polymer sebagai material yang memiliki sifat viskoelastik salah satunya ada pada bidang *bio-engineering* yaitu sebagai *bearing* di sistem sambungan tulang buatan. Sistem sambungan tulang buatan dibuat untuk menggantikan sambungan tulang manusia yang mengalami kerusakan akibat penyakit tulang (*arthritis*) atau kerusakan akibat faktor lain seperti kecelakaan dan kekurangan nutrisi [1]. Ada beberapa jenis sambungan tulang buatan seperti pada bahu, lutut, pinggul, jari, dan sendi-sendi lainnya.

Di Indonesia, persediaan tulang pinggul buatan untuk kebutuhan masyarakat dalam negeri masih didatangkan dari luar negeri (*import*). Hal ini dikarenakan teknologi yang berkembang di Indonesia belum mampu memenuhi kriteria kualitas sambungan baik dari persyaratan teknis maupun medis. Permasalahan muncul ketika dimensi sambungan yang seharusnya diaplikasikan untuk ukuran orang-orang Eropa dan Amerika sebagai penyedia produk kemudian diterapkan untuk orang Indonesia yang relative lebih kecil ukurannya. Fenomena ini menuntut adanya keharusan untuk memodifikasi sambungan baik dari segi karakteristik fungsional, material, dan geometris agar dapat digunakan lebih layak untuk masyarakat Indonesia.

Penelitian ini menfokuskan pada pemodelan kasus kontak berbagai lapisan komponen pada sambungan tulang pinggul buatan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga ANSYS 9.0 yang menerima beban statik selama kurun waktu tertentu. Sistem sambungan tulang pinggul buatan yang dikembangkan terdiri dari dua bagian komponen yaitu komponen hip (*acetbular*) dan komponen *leg* (*femoral*) (Gb. 1). Komponen *femoral head* dimodelkan sebagai paduan *cobalt-chrome-molebdenum*, sedangkan komponen *liner* pada *hip* dimodelkan sebagai UHMWPE sebagai material viskoelastik. Kedua

material ini merupakan salah satu pasangan yang paling banyak digunakan [2]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari pengaruh pembebanan terhadap distribusi tegangan maksimum yang terjadi pada sambungan pinggul buatan dengan bervariasi harga pembebanan dan diameter dalam *femoral head*.



Gambar 1: Sambungan tulang pinggul buatan [3]

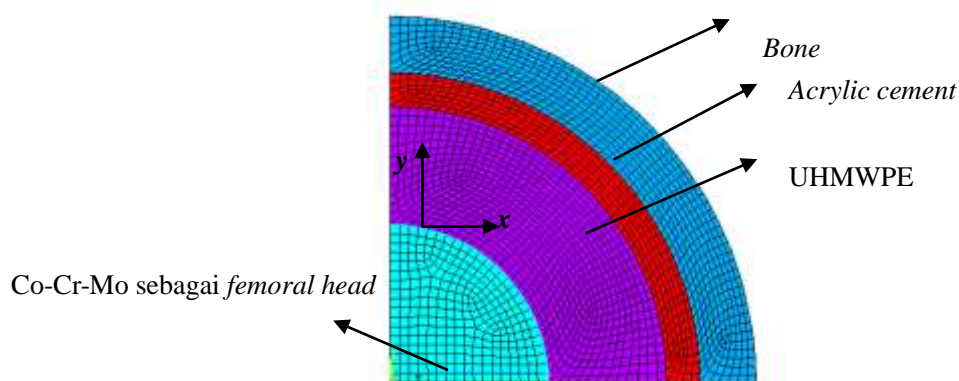
2. PROSEDUR PEMODELAN

Dalam penelitian ini, model elemen hingga dikembangkan untuk sistem sambungan tulang pinggul buatan dengan menggunakan perangkat lunak simulasi berdasar metode elemen hingga. Perangkat lunak yang digunakan adalah ANSYS Multiphysics 9.0. Model sambungan yang dikembangkan adalah sambungan dengan diameter dalam *femoral head* sebesar 28 mm. Untuk mensimulasikan efek berat terhadap sambungan, dipilih harga pembebanan, yaitu 80 kg. Harga 80 kg diambil sebagai harga rata-rata berat normal orang Indonesia. Kasus pembebanan yang dilakukan adalah beban statik selama 5 menit waktu pembebanan. Kurun waktu yang diberikan adalah untuk mengetahui pengaruh sifat UHMWPE sebagai material viskoelastik yang merupakan suatu fungsi waktu terhadap distribusi tegangan von Mises.

Data material yang digunakan sebagai masukan dalam pemodelan di ANSYS dapat dilihat pada Tabel 1. Tipe elemen material yang digunakan dalam ANSYS adalah PLANE182 dan jenis kontak yang digunakan adalah TARGE169 dan CONTA172 sebagai pemodelan kontak *surface-to-surface*. Jenis kontak ini yang menghitung besarnya kekakuan elemen penyusun direkomendasikan untuk digunakan karena lebih akurat [4, 5]. Model elemen hingga yang dibangun terdiri dari 2,193 nodal dan 2,147 elemen (Gb. 2).

Tabel 1. Data material empat lapis komponen model elemen hingga sambungan tulang [6]

Material	Young modulus [GPa]	Poisson's ratio
Co-Cr-Mo	210	0.30
UHMWPE	1	0.45
Acrylic cement	2,944	0.38
Bone	17	0.30



Gambar 2: Model elemen hingga untuk sistem sambungan tulang pinggul buatan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan von Mises maksimum merupakan tegangan yang penting diketahui dalam analisa kegagalan menurut kriteria kegagalan von Mises. Bila besarnya tegangan von Mises maksimum yang terjadi dalam sambungan tidak melewati batas tegangan luluh jenis material tiap lapisan penyusun sambungan, maka dikatakan sambungan yang terbentuk aman. Untuk kasus penelitian yang ditinjau, pada beban normal sebesar 80 kg untuk diameter dalam *femoral head* sebesar 28 mm saat awal waktu pembebanan besarnya kedalaman material UHMWPE adalah sebesar 0.024 mm, sedangkan besarnya tegangan von Mises maksimum pada tiap lapisan adalah:

- a. Lapisan Co-Cr-Mo = 3.55 MPa
- b. Lapisan UHMWPE = 3.01 MPa
- c. Lapisan *Acrylic cement* = 2.13 MPa
- d. Lapisan *Bone* = 1.8 MPa

Setelah lima menit pembebanan terjadi penurunan tegangan von Mises maksimum pada semua lapisan sambungan menjadi sebagai berikut :

- a. Lapisan Co-Cr-Mo = 2.38 MPa
- b. Lapisan UHMWPE = 1.81 MPa
- c. Lapisan *Acrylic cement* = 1.85 MPa
- d. Lapisan *Bone* = 1.08 MPa

sedangkan kedalaman UHMWPE bertambah menjadi 0.053 mm. Penurunan tegangan von Mises maksimum dan penambahan kedalaman material viskoelastik setelah sekian waktu pembebanan dikarenakan ketika tegangan diberikan secara konstan, material UHMWPE sebagai material viskoelastik mengalami fenomena *creep*. Area kontak antara paduan Co-Cr-Mo dengan lapisan UHMWPE semakin meluas seiring dengan waktu sehingga tegangan semakin menurun. Perbandingan besarnya tegangan von Mises maksimum pada saat awal pembebanan dan lima menit pembebanan disajikan dalam Tabel 2 secara lengkap.

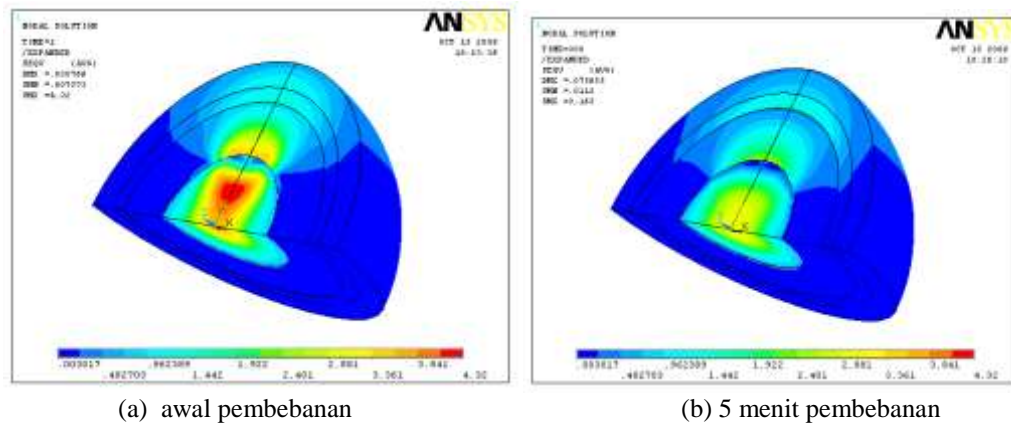
Tabel 2. Tegangan von Mises maksimum untuk berbagai beban dan diameter dalam femoral head

Material	Tegangan von Mises maksimum (MPa)	
	80 kg - 28 mm	
	awal	Akhir
Cr-Co-Mo	4.32	3.16
UHMWPE	4.07	2.58
<i>Acrylic cement</i>	1.71	1.63
<i>Bone</i>	1.46	0.95
Kedalaman (mm)	0.03	0.075

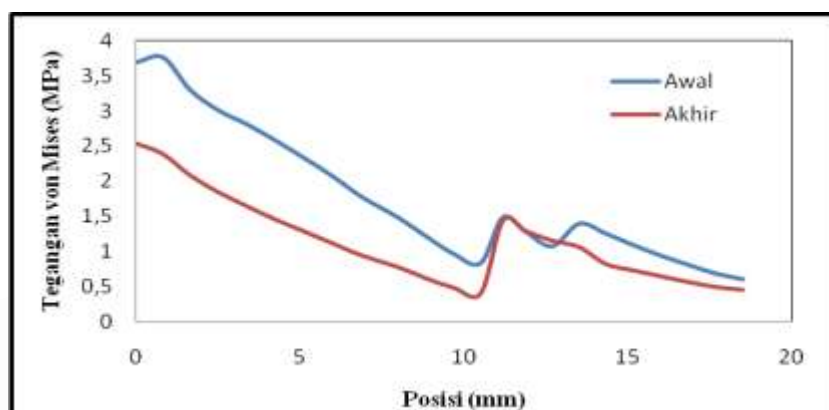
* Awal : awal pembebanan (t = 1 detik)
 ** Akhir : akhir pembebanan (t = 5 menit)

Gambar 3(a) dan (b) menunjukkan plot distribusi tegangan von Mises maksimum hasil pemodelan *present model* untuk kasus kontak sambungan tulang pinggul buatan ketika awal pembebanan dan setelah lima menit pembebanan secara statik untuk harga pembebanan 80 kg dan harga diameter dalam *femoral head* 28 mm. Dapat dilihat dari keseluruhan gambar bahwa tegangan von Mises maksimum terjadi di daerah *femoral head*. Peranan UHMWPE sebagai material viskoelastik seperti terlihat dalam gambar adalah mampu mengurangi besarnya tegangan yang terjadi setelah pembebanan setelah sekian waktu pembebanan. Tegangan von Mises yang ada di lapisan UHMWPE pun relatif sama dengan tegangan yang ada di *cement* maupun yang ada di *bone*. Hal ini berarti bahwa pemilihan material viscoelastik UHMWPE sudah sesuai digunakan sebagai material *liner* pada sambungan tulang pinggul buatan untuk orang Indonesia dari persyaratan keteknisan. Kesimpulan ini diperkuat dengan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan plot tegangan von Mises yang terjadi di sepanjang lapisan pada sambungan tulang. Posisi 0 (nol) dimulai dari lapisan UHMWPE (Gb. 2). Seperti distribusi tegangan von Mises yang ditampilkan dalam gambar sebelumnya, besarnya tegangan von Mises semakin berkurang mendekati lapisan *bone*. Pada pergantian lapisan dalam sambungan tulang, terjadi lonjakan tegangan von Mises. Hal ini disebabkan perbedaan karakteristik material yang ada pada tiap lapisan. Tegangan von Mises melonjak ketika memasuki daerah lapisan *cement*. Tetapi nilai tegangan ini berangsur-angsur turun mendekati lapisan *bone*. Fenomena ini memperkuat alasan mengapa *cement* sering digunakan dalam sambungan diantara UHMWPE dan *bone*. Ini disebabkan karena selain berfungsi sebagai perekat, *cement* juga mampu meredam tegangan von Mises sama sebelum memasuki lapisan *bone*.



Gambar 3: Distribusi tegangan von Mises untuk beban 80 kg dengan diameter dalam 28 mm pada saat (a) awal pembebanan, (b) 5 menit pembebanan



Gambar 4. Tegangan von Mises untuk beban sebesar 80 kg dengan diameter dalam 28 mm

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi kontak pada sistem sambungan tulang pinggul buatan menunjukkan pengaruh material UHMWPE yang bersifat viskoelastik terhadap distribusi tegangan von Mises yang terjadi. Karena sifat viskoelastik UHMWPE ini, tegangan von Mises yang dialami tulang dapat tereduksi. Berdasarkan studi ini pula, diketahui bahwa besarnya tegangan von Mises maksimum yang terjadi pada semua lapisan dalam sistem sambungan tulang pinggul buatan yang dikembangkan untuk *femoral head* dengan diameter 28 mm terbukti memenuhi persyaratan secara keteknisan karena tidak melebihi tegangan luluh material pembentuknya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smallman, R. E. dan Bishop, R. J., *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, PT.Erlangga, Jakarta, Indonesia, 2000.
- [2] Bale, J.S., dan Dharmastiti, R., "Pengaruh Kecepatan Gesekan Terhadap Sifat Keausan *Die Drawn* UHMWPE untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan", *Prosiding SNTTM VIII*, M3-006, , hal. 517-525, Agustus 2009
- [3] Ghost, P., *Polymer Science and Technology*, Mc.Graw-Hill, New Delhi, India, 2002.
- [4] ANSYS, Inc., *ANSYS Contact Technology Guide*, ANSYS, Inc., USA, 2005.
- [5] Stolarski, T., Nakasone, Y., dan Yoshimoto, S., *Engineering Analysis with ANSYS SOFTWARE*, Butterworth-Heinemann, Amsterdam, 2006.
- [6] Lakes, R., *Viscoelastic solids*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1998.